МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621. 762. 1 DOI 10.12737/18272

Повышение механических свойств горячедеформированных порошковых сталей*

М. С. Егоров[1], Р. В. Егорова[2], В. Н. Пустовойт[3]**

[1,2] Донской государственный технический университет, г. Волгодонск, Российская Федерация

[3] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Strengthening of hot-worked powder steels***

M. S. Yegorov[1] , R. V. Yegorova [2],V. N.Pustovoyt[3]**

[1,2] Don State Technical University, Volgodonsk, Russia

[3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Целью работы являлось изучение основополагающих процессов формирования горячедеформированных порошковых сталей (ГДПС), а также сращивание материала частиц на уже имеющихся и вновь образующихся контактных поверхностях. Роль сращивания особенно велика при производстве материалов, работающих в нагруженных условиях. Очевидно, что какая бы ни была структура в объеме материала, окруженном бывшей поверхностью частицы порошка, до определенного уровня сращивания свойства порошкового материала будут определяться не морфологическими структурными особенностями, а качеством сращивания. Поэтому исследование межчастичного сращивания при формировании ГДПС остается актуальной задачей порошкового материаловедения. Таким образом, дополнительная обработка давлением горячедеформированных порошковых сталей может быть предложена не только для формоизменения, но и для повышения уровня их механических свойств.

Ключевые слова: порошковая металлургия, горячая деформация, межчастичное сращивание, легирующие элементы.

The work objective is to study the fundamental processes of forming hot-worked powder steels (HWPS) and bonding the particulate material on the existing and newly formed contact surfaces. The role of splicing is particularly great in the process of manufacturing materials under the strained conditions. Evidently, whatever the structure in the amount of the material surrounded by the former powder particle surface, the powder material properties will be determined not by the morphological structural features, but by the splice quality up to a defined level of splicing. Therefore, the study of interparticle splicing in the formation of HWPS is a crucial task of the materials technology. Thus, further processing of hot pressurized powder steels can be offered not only for forming, but to improve their mechanical properties as well.

Keywords: powder metallurgy, hot deformation, interparticle splicing, alloying elements.

Введение. Сравнение свойств горячедеформированных и экструдированных порошковых материалов идентичного химического состава показывает, что последние обладают более высоким уровнем механических свойств [1–3]. Это различие может быть объяснено различной степенью завершения межчастичного сращивания. В работах по исследованию межчастичного сращивания основное внимание уделялось условиям, при которых происходит формирование внутрикристаллитного сращивания на технологических стадиях получения горячедеформированных порошковых материалов (ГДПМ)[4,5]. Однако последние результаты механических испытаний ГДПМ из железного порошка при пониженной температуре показали, что существует зависимость между степенью завершения сращивания и температурой горячей допрессовки [6].

Поэтому исследование возможности повышения свойств ГДПС представляет определенный практический интерес. Одним из способов достижения этой цели является дополнительная ограниченная объемная пластическая

---

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: aquavdonsk@mail.ru, fipm-dstu@mail.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.

деформация. Для того, чтобы использовать аналитическое описание процесса уплотнения и развития контактной поверхности, полученное для сферической формы металлических частиц, экспериментальная часть исследования выполнялась с применением в качестве исходного материала железного порошка марки Atomet 4601 [7].

Экспериментальная часть. Образцы изготовлялись по следующей технологии: статическое холодное прессование (интервал значений исходной пористости 12–40 %), горячая допрессовка при температурах 950–1150°С (остаточная пористость<0,5%), объемная деформация в закрытом штампе в том же интервале температур. Из призматических прессовок вытачивались образцы с рабочей частью диаметром 5 мм для испытаний на статическое растяжение при комнатной температуре (ГОСТ 1497) и при охлаждении до –120°С. Во втором случае использовали методику испытаний, описанную в [8]. Криостат заполнялся смесью жидкого азота и петролеумного эфира. В процессе хрупкого низкотемпературного разрушения не происходит образования шейки, сопровождающее разрушение при комнатной температуре, что повышает точность определения площади контактного сечения.

Результаты низкотемпературного разрушения представлены на рис. 1. Значения низкотемпературного предела прочности практически не зависят от значения исходной пористости, которая варьировалась в отмеченном выше интервале. Механические свойства при комнатной температуре определялись на образцах с исходной пористостью 30%, являющейся оптимальной для используемой марки порошка [9].
Обращает на себя внимание тот факт, что с повышением температуры горячей допрессовки низкотемпературный предел прочности увеличивается, и при 1150°С его значение составляет 850 МПа независимо от исходной пористости.

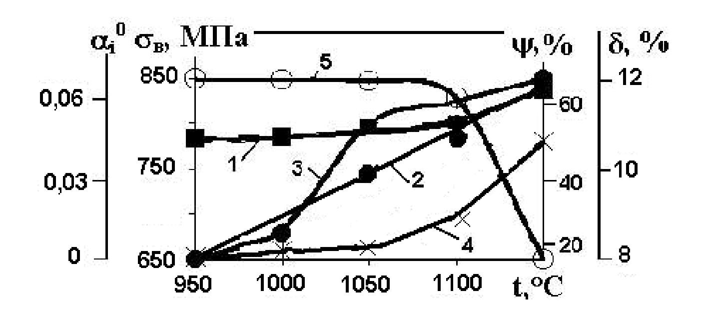


Рис.1. Зависимость предела прочности ГДПМ при 20°С (1) и 20°С (2), относительного удлинения (3), относительного сужения (4) и контактного сечения с незавершенным сращиванием (5) от температуры горячей допрессовки

С повышением температуры горячей допрессовки наблюдается повышение как прочности, так и пластичности ГДПС (линии 2–4). Максимум механических свойств достигается при 1150°С. Это обстоятельство позволяет рассматривать образец, полученный при этой температуре, в качестве эталона, характеризующего завершение процесса формирования внутрикристаллитного сращивания на всей контактной поверхности. Факт ярко выраженной зависимости низкотемпературного предела прочности ГДПС от температуры горячей допрессовки может быть объяснен следующим образом. Образцы получены в условиях горячего уплотнения в закрытой матрице и имеют одинаковую остаточную пористость до 0,5%. Так как в данных условиях уплотнения площадь контактного сечения является функцией пористости и совпадает по величине с площадью номинального поперечного сечения, то отмеченное отличие ГДПС в значениях предела прочности связано с незавершенностью межчастичного сращивания на определенном участке контактной поверхности, выпадающей из несущего внешнее нагружение сечения. Сопоставление значений низкотемпературного предела прочности у ГДПС, полученного при различных температурах горячей допрессовки, и эталона позволяет количественно определить относительную долю контактного сечения с незавершенным сращиванием (α_i^0) (рис.1, линия 5).

$$\alpha_i^0=1-\sigma_{вi}/\sigma_э,$$

где $\sigma_{вi}$ — низкотемпературный предел прочности ГДПС;
$\sigma_э$ — низкотемпературный предел прочности эталона.

Наличие в структуре ГДПС участков контактной поверхности с незавершенным сращиванием следует рассматривать как элемент, облегчающий разрушение и, следовательно, играющий роль концентратора напряжений. Повышение уровня механических свойств ГДПС возможно путем устранения отмеченного структурного элемента в результате дополнительной обработки давлением порошкового образца [10]. Для проведения этой операции горячедеформированные образцы подвергались механической обработки для создания необходимого бокового зазора между ними и стенками матрицы и затем деформировались в горячем состоянии объемной штамповкой. Степень дополнительной горячей деформации определялась зазором между матрицей и образцом. Результаты исследования показаны на рис. 2.

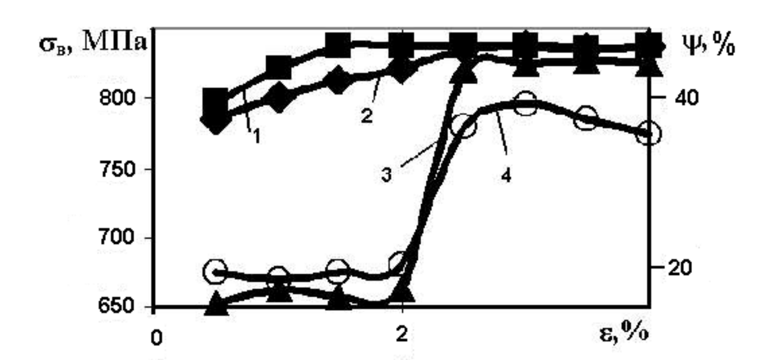


Рис.2. Зависимость механических свойств ГДПС от степени дополнительной пластической деформации: 1, 2 — -120°С (1); 3,4 — 20°С; 1,2,3 — $\sigma_в$; 4 — ψ

Кривая 1 относится к ГДПС, горячая допрессовка которого проводилась при 1100°С, кривые 2–4 соответствуют ГДПС, полученному при 950°С. Дополнительная объемная деформация проводилась при 1000°С.

Обсуждение и результаты. Скачкообразное увеличение прочности и пластичности материала, наблюдаемое при степени деформации 2,5%, свидетельствует о завершении сращивания. При этой степени деформации низкотемпературный предел прочности достигает эталонное значение, которое на меняется при дальнейшем деформировании. Отмеченное значение степени дополнительной пластической деформации может быть истолковано как критическая величина, характеризующая минимальную степень деформирования, достаточную для завершения сращивания на всей контактной поверхности. Эта величина является функцией температуры горячей допрессовки, с повышением которой она монотонно уменьшается. Так при проведении горячей допрессовки пористой заготовки при 1100°С критическая степень деформации составляет 1,5%.

Выводы. Таким образом, дополнительная обработка давлением горячедеформированных порошковых сталей может быть предложена не только для формоизменения, но и для повышения уровня их механических свойств. Степень пластической деформации зависит от относительной площади контакного сечения с незавершенным при горячей допрессовки межчастичным сращиванием.

Библиографический список

1. Friedman G. Properties of extruded Metal Powder. The International journal of Powder metallurgy and Powder Technology, 1980.– vol. 16.– №1.– P. 29 -36.

2. Sheppard T., Meshane H. Analysis of pressure requirements for Powder Metallurgy // The International journal of Powder metallurgy and Powder Technology.– 1976.– V. 19.– № 3.– P. 121 - 125.

3. Henrik Karlsson, Lars Nyborg, and Ola Bergman. Surface Interactions during Sintering of Water- atomized Pre-alloyed Steel Powder// Euro PM 2004 Powder Metallurgy World Congress& Exhibition Austria Centre Viena, Austria 17-21 October 2004, Volume 3, page 23-28.

4. Сращивание на контактных поверхностях при различных технологических вариантах горячей обработки давлением порошковых материалов / Ю. Г. Дорофеев, В. Ю. Дорофеев, С. Н. Егоров и др. // Порошковая металлургия. — 1986. — №10. — С.31–34.

5. Процессы сращивания в порошковых горячештампованных материалах на основе железа. Сообщения 1–3 / Б. Ю. Дорофеев, В. Ю. Дорофеев, Ю. Н. Иващенко и др. // Порошковая металлургия. — 1988. — № 6. — С. 27–32.

6. Дорофеев, В. Ю. Межчастичное сращивание при формировании порошковых горячедеформированных материалов. / В. Ю. Дорофеев, С. Н. Егоров / — Москва : Металлургиздат, 2003. — 151 с.

7. Егоров, С. Н. Контактная и свободная поверхности пористого тела как функции пористости / С. Н. Егоров, Т. Н. Кичик, В. А. Гийденко // Порошковые и композиционные материалы. Структура, свойства, технология : сб. науч. трудов. Южно-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001.— С.22–26.

8. Методы исследования механических свойств металлов / Под ред. С. И. Кишкиной, Н. М. Склярова. // Москва : Машиностроение, 1974. — 320 с.

9. Дорофеев, Ю. Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок / Ю. Г. Дорофеев. — Москва : Металлургия, 1977. — 216 с.

10. Дорофеев, В. Ю. Развитие активированной контактной поверхности при формировании горячештампованных порошковых материалов / В. Ю. Дорофеев, М. С. Егоров, С. Н. Егоров. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. техн. науки. — 2004. — №1. — С.64–66.

References

1. Friedman G. Properties of extruded Metal Powder. The International journal of Powder metallurgy and Powder Technology, 1980, vol. 16, no. 1, pp. 29 -36.

2. Sheppard T., Meshane H. Analysis of pressure requirements for Powder Metallurgy. The International journal of Powder metallurgy and Powder Technology, 1976, vol. 19, no. 3, pp. 121 - 125.

3. Henrik Karlsson, Lars Nyborg, and Ola Bergman. Surface Interactions during Sintering of Water- atomized Pre-alloyed Steel Powder. Euro PM 2004 Powder Metallurgy World Congress& Exhibition Austria Centre, Viena, Austria, 17-21 October 2004, vol. 3, pp. 23-28.

4. Dorofeev, Y.G., Dorofeev, V.Y., Yegorov, S.N., et al. Srashchivanie na kontaktnykh poverkhnostyakh pri razlichnykh tekhnologicheskikh variantakh goryachey obrabotki davleniem poroshkovykh materialov. [Splicing at the contact surfaces at different hot working technological options of powder materials.] Powder Metallurgy, 1986, no. 10, pp. 31–34 (in Russian).

5. Dorofeev, Y.G., Dorofeev, V.Y., Ivashchenko, Y.N., et al. Protsessy srashchivaniya v poroshkovykh goryacheshtampovannykh materialakh na osnove zheleza. Soobshcheniya 1–3. [Splicing processes in hot-stamped iron-based powder materials. Reports 1-3.] Powder Metallurgy, 1988, no. 6, pp. 27–32 (in Russian).

6. Dorofeev, V.Y., Yegorov, S.N. Mezhchastichnoe srashchivanie pri formirovanii poroshkovykh goryachedeformirovannykh materialov. [Interparticle splicing under the formation of hot powdered materials.] Moscow: Metallurgizdat, 2003, 151 p. (in Russian).

7. Yegorov, S.N., Kichik, T.N., Giydenko, V.A. Kontaktnaya i svobodnaya poverkhnosti poristogo tela kak funktsii poristosti. [Contact and free surfaces of a porous body as a porosity function.] Poroshkovye i kompozitsionnye materialy. Struktura, svoystva, tekhnologiya: sb. nauch. trudov. [Powder and composite materials. Structure, properties, and technology: Coll. Sci. Papers.] South-Russian State Technical University. Novocherkassk: YuRGTU, 2001, pp. 22–26 (in Russian).

8. Kishkina, S.I., Sklyarova, N.M., eds. Metody issledovaniya mekhanicheskikh svoystv metallov. [Investigative techniques of mechanical properties of metals.] Moscow: Mashinostroenie, 1974, 320 p. (in Russian).

9. Dorofeev, Y.G. Dinamicheskoe goryachee pressovanie poristykh poroshkovykh zagotovok. [Dynamic hot pressing of porous powder blanks.] Moscow: Metallurgiya, 1977, 216 p. (in Russian).

10. Dorofeev, V.Y., Yegorov, M.S. Yegorov, S.N. Razvitie aktivirovannoy kontaktnoy poverkhnosti pri formirovanii goryacheshtampovannykh poroshkovykh materialov. [Development of the activated contact surface under the formation of hot-stamped powder materials.] University News. North-Caucasian region. Technical Sciences Series, 2004, no. 1, pp. 64–66 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.12.2015
Сдана в редакцию 04.12.2015
Запланирована в номер 22.01.2016